



La fertilización nitrogenada en el cultivo de la alfalfa

TEXTOS: IGNACIO DELGADO Y FERNANDO MUÑOZ

FOTOS: ARCHIVO SURCOS

Fijación del nitrógeno atmosférico por las leguminosas

El nitrógeno es un elemento esencial en las plantas, ya que entra a formar parte de la composición de las proteínas. Este elemento que se encuentra muy abundante en la atmósfera y en las rocas, las plantas no lo pueden asimilar directamente. Necesitan la contribución de algunos microorganismos, entre los que se encuentran las bacterias del género *Rhizobium*, las cuales son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico y transformarlo en orgánico. Dichos microorganismos viven en simbiosis con las leguminosas, o sea, se ayudan mutuamente. Para ello, se adhieren a sus raíces formando nódulos blanquecino-rosáceos, donde pasan el nitrógeno de atmosférico a orgánico. A través de los nódulos, las bacterias trasvasan el nitrógeno a las leguminosas y, a cambio, éstas proporcionan otros nutrientes a las bacterias.

La propiedad de aprovechar el nitrógeno atmosférico por mediación de las bacterias es casi exclusiva de las leguminosas, por lo que las especies que pertenecen a esta familia no necesitan fertilización nitrogenada para su crecimiento, alcanzando las máximas producciones, siempre que no haya limitaciones en el suelo de otros minerales importantes como el fósforo, el potasio, el calcio, el azufre, el boro o el molibdeno.

Las leguminosas, una vez que se levanta el cultivo, dejan en el suelo gran cantidad de nitrógeno orgánico, procedente principalmente de las raíces y coronas de las plantas, que

puede ser aprovechado por el cultivo siguiente. Desde que los agricultores descubrieran estas propiedades, aunque fuera intuitivamente, las han utilizado en las rotaciones de cultivo para aprovechar este enriquecimiento del suelo y mejorar los rendimientos de la siguiente cosecha.

Entre todas las leguminosas cultivadas destaca la alfalfa por su capacidad fijadora de nitrógeno atmosférico, dado que debido a su elevada producción de forraje de alto contenido proteínico, llega a fijar hasta 463 kg de nitrógeno atmosférico por hectárea y año, el cual utiliza en su mayor parte para la producción de proteína propia.

El nitrógeno atmosférico también puede fijarse industrialmente mediante procesos de catalización llevados a cabo en las industrias químicas, que lo ponen a disposición de los agricultores principalmente en forma de urea, nitrato amoniacal y nitrato nítrico. Ello ha sido uno de los principales motores de los elevados rendimientos alcanzados por las cosechas en la agricultura moderna. Aunque su precio es elevado, la utilización del nitrógeno mineral se ha hecho imprescindible para lograr altos rendimientos, lo que ha conducido al uso abusivo de la fertilización mineral nitrogenada, incluyendo a cultivos como la alfalfa que no la necesitan. Dicho abuso está ocasionando la contaminación de ríos y acuíferos, debido al lavado del nitrógeno no utilizado por las plantas.

La fertilización nitrogenada de cobertera en un cultivo de alfalfa

La fertilización nitrogenada de la alfalfa es una práctica cuestionada generalmente en los alfalfares establecidos, porque la planta asimila el nitrógeno atmosférico que la bacteria *Rhizobium meliloti* fija simbióticamente en los nódulos formados en sus raíces y el abonado nitrogenado no mejora la producción anual de forraje o lo hace de una forma no rentable. Así lo han puesto de manifiesto numerosos estudios realizados en el mundo. Los ensayos llevados a cabo en el valle del Ebro también han demostrado que el abonado mineral nitrogenado no aumenta la producción de forraje.

De los diferentes estudios que se han realizado, se extraen diversas conclusiones a tener en cuenta a la hora de aportar fertilizantes:

- La alfalfa tiene capacidad para obtener el nitrógeno que necesita a través de la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico que realizan las bacterias nitrificantes instaladas en los nódulos de las raíces.
- Ahora bien, si a la planta se le aporta nitrógeno en forma mineral (abonos nitrogenados), orgánica (purines, etc) o foliar (aminoácidos), aquélla utiliza los abonos aportados con preferencia y deja de fijar nitrógeno.
- Los rendimientos no se incrementan con el abonado mineral, pero los gastos del cultivo sí.
- Hay casos excepcionales en los cuales la aportación de fertilizantes nitrogenados puede mejorar el rendimiento del cultivo, como son en los alfalfares mal establecidos o a la salida del invierno, cuando las bajas temperaturas reducen la actividad de las bacterias nitrificantes. En estos casos, una pequeña aportación de fertilizante nitrogenado es recomendable.

A pesar de estas recomendaciones, se constata por una encuesta efectuada por Ruiz et al. (1993) en Aragón, que el 100 % de los agricultores realizaba habitualmente en dicho periodo aportaciones nitrogenadas en forma mineral, del orden de 50 unidades fertilizantes por ha y año. Asimismo, el 15 % de los agricultores encuestados llevó a cabo aplicaciones de abono foliar en forma de aminoácidos y de boro+magnesio, en número y cuantía no especificadas en las encuestas, en la convicción de que dichas aportaciones incrementaban notablemente la producción de forraje. Otra encuesta reciente en el ámbito nacional, realizada por Fuentes y Lloveras (2003), indica que en España se aporta abono nitrogenado de mantenimiento en el 80% de los alfalfares, a razón de 50 kg por hectárea y año, y se realizan aplicaciones

de aminoácidos o de boro, en el 50% de los mismos.

Con el fin de contrastar la información disponible y obtener resultados propios sobre el efecto del abonado nitrogenado mineral o foliar, se llevó a cabo un ensayo comparativo en un alfalfar de regadío de segundo año, en Zaragoza, utilizando cinco dosis de abono nitrogenado o foliar; distribuidos en diferentes aportaciones, y una de boro. Las dosis y forma de distribución fueron las siguientes:

- Testigo, sin abonado nitrogenado.
- 50 kg (unidades fertilizantes) de nitrógeno por hectárea en forma nítrica-amoniacal del 33,5 % de riqueza, aportados a la salida del invierno.
- 100 kg (unidades fertilizantes) de nitrógeno por hectárea en forma nítrica-amoniacal del 33,5 % de riqueza. De ellos, 50 kg aportados a la salida del invierno y 50 kg después del 2º corte.
- 300 kg (unidades fertilizantes) de nitrógeno por hectárea en forma nítrica-amoniacal del 33,5 % de riqueza. De ellos, 50 kg aportados a la salida del invierno y 50 kg después de cada uno de los cortes, salvo el último.
- Aplicación de abono foliar (2,73% de nitrógeno total) sobre el cultivo en crecimiento, en los ciclos productivos primero y tercero, a la dosis de 4 litros por hectárea y tratamiento de producto comercial (Aminobull 13), diluidos en agua para su aplicación con mochila a razón de 160 litros por hectárea.
- Aplicación foliar de quelato de boro (14 % p.v.-10 % p.p.) sobre el cultivo en crecimiento, en todos los ciclos productivos, a la dosis de 1,5 litros por hectárea y tratamiento de producto comercial (Magriboro), diluidos en agua para su aplicación con mochila a razón de 160 litros por hectárea.

Para el estudio comparativo de los seis tratamientos, se marcaron parcelas de 25 metros cuadrados cada una. La misma dosis se repitió en cuatro parcelas elegidas al azar para compensar, calculando la media, las posibles variaciones que pudiera haber en el alfalfar. Se evaluaron en total 24 parcelas. Las producciones de forraje, obtenidas con las diferentes aplicaciones de abono, se presentan en la Tabla 1. Analizadas estadísticamente, se apreció que la producción de forraje no varió en función del tipo de aplicación realizada. Produjeron lo mismo las parcelas no abonadas que aquellas que recibieron la aportación máxima de 300 kg de nitrógeno por hectárea o la aplicación de aminoácidos.

Tabla 1. PRODUCCIÓN DE MATERIA POR HECTÁREA, EN UN ALFALFAR DE SEGUNDO AÑO, EN LOS DIFERENTES CORTES, EN FUNCIÓN DE LAS APORTACIONES DE ABONO NITROGENADO Y DE BORO

| TRATAMIENTO | CORTE 1 KG/HA | CORTE 2 KG/HA | CORTE 3 KG/HA | CORTE 4 KG/HA | CORTE 5 KG/HA | CORTE 6 KG/HA | TOTAL AÑO KG/HA |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| 1. 0 kg N/ha | 3625 | 3734 | 2708 | 2641 | 2322 | 1328 | 16.357 |
| 2. 50 kg N/ha | 3132 | 3703 | 2967 | 2519 | 2164 | 1328 | 15.812 |
| 3. 100 kg N/ha | 3396 | 4110 | 2900 | 2538 | 2306 | 1287 | 16.537 |
| 4. 300 kg N/ha | 3039 | 3892 | 2843 | 2529 | 2365 | 1178 | 15.845 |
| 5. Abono foliar | 3511 | 4040 | 2997 | 2720 | 2389 | 1286 | 16.943 |
| 6. Boro | 3485 | 3758 | 3201 | 2500 | 2456 | 1444 | 16.844 |
| Media | 3364,8 | 3864,4 | 2936,0 | 2574,3 | 2333,4 | 1308,5 | 16.389,7 |
| Significación | NS |

NS = No significativo (P>0,05).



El contenido en proteína bruta del forraje de cada corte se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. CONTENIDO EN PROTEÍNA BRUTA POR CORTES, EN UN ALFALFAR DE SEGUNDO AÑO, EN FUNCIÓN DE DIFERENTES APORTACIONES DE ABONO

| TRATAMIENTO | CORTE 1 % | CORTE 2 % | CORTE 3 % | CORTE 4 % | CORTE 5 % | CORTE 6 % |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. 0 kg N/ha | 22,27 | 23,47 | 28,81 | 19,57 a | 24,01 | 20,32 |
| 2. 50 kg N/ha | 23,17 | 23,57 | 22,64 | 19,66 a | 23,75 | 20,37 |
| 3. 100 kg N/ha | 22,90 | 22,06 | 21,14 | 19,71 a | 23,93 | 20,23 |
| 4. 300 kg N/ha | 22,23 | 22,72 | 23,01 | 19,26 a | 23,38 | 19,14 |
| 5. Abono foliar | 22,82 | 25,08 | 22,19 | 18,88 ab | 23,64 | 19,66 |
| 6. Boro | 22,82 | 23,63 | 22,03 | 18,03 b | 23,41 | 20,25 |
| Media | 22,70 | 23,42 | 23,28 | 19,18 | 23,69 | 19,99 |
| Significación | NS | NS | NS | * | NS | |

NS = No significativo; *= Significativo al nivel de P<0,05. Las cifras seguidas de igual letra dentro de cada columna no son significativas.

Se observa, asimismo, que las aportaciones de abono nitrogenado no modificaron el contenido en proteína bruta de la alfalfa. Solamente, las parcelas tratadas con quelato de boro tuvieron contenidos en proteína bruta ligeramente inferiores.

Se deduce de este Experimento que, en el alfalfar en estudio, no era preciso aportar abonado nitrogenado de mantenimiento. Esta conclusión podría trasladarse a alfalfares similares, localizados en lugares donde el cultivo de la alfalfa es tradicional, y es coincidente con las conclusiones de numerosos experimentos recogidos en otras publicaciones.

No disponemos de datos propios sobre la conveniencia o no de aportar abono nitrogenado durante el primer año de establecimiento del alfalfar. Las encuestas citadas anteriormente muestran que el 84% de los agricultores en Aragón y el 70% en España aportan 50 kg de nitrógeno por hectárea de media como abonado de fondo con las labores de siembra. Algunos trabajos publicados recomiendan realizar inicialmente pequeñas aportaciones de nitrógeno para facilitar el establecimiento del alfalfar, aunque otros trabajos indican que la aportación de nitrógeno dificulta la fijación a las raíces de las bacterias nitrificantes.

La alfalfa como capturadora del exceso de nitratos del suelo

El nitrógeno contenido en las deyecciones animales es en parte responsable de la contaminación de las aguas freáticas y superficiales.

Como ya se ha indicado anteriormente, la alfalfa puede cubrir sus necesidades de nitrógeno para producir proteínas vegetales, sin necesidad de recurrir a la fertilización nitrogenada, gracias a su convivencia con la bacteria *Rhizobium meliloti* que fija el nitrógeno atmosférico a través de los nódulos que forma en las raíces. Asimismo, ya se ha indicado que si a la alfalfa se le aporta abono nitrogenado, sea químico o en forma de purines, la planta toma con preferencia el nitrógeno aportado y deja de producir nódulos y fijar nitrógeno atmosférico a través de las bacterias. Podría decirse de ella que es una planta vaga, si el agricultor aporta abono nitrogenado, la alfalfa deja de tomarlo de las bacterias y utiliza el aportado por el agricultor.

Este comportamiento vago de la alfalfa y las cantidades ingentes de nitrógeno que necesita para producir un elevado volumen de forraje de alto contenido proteínico ha hecho sugerir a algunos investigadores que el cultivo de la alfalfa podría ser utilizado para capturar el exceso de nitrógeno libre en el suelo procedente de anteriores cultivos o aprovechar el cultivo para deshacerse de purines y residuos agroindustriales con alto contenido en nitrógeno, en lugar de que la planta fije el nitrógeno atmosférico. El cultivo de la alfalfa podría así contribuir a capturar el nitrógeno lixiviado y a eliminar residuos contaminantes. Debe tenerse en cuenta la profundidad de sus raíces, que pueden superar el metro y medio, lo que facilita la captura del nitrógeno filtrado a profundidades a las que no

llegan las raíces de otros cultivos. Si se evalúa el consumo mínimo de nitrógeno de un alfalfar, se aprecia que con una producción de 12.000 kg de heno por hectárea y año, y un contenido medio de proteína bruta de la planta en verde del 22,63 % (según la Tabla 2), el cultivo exporta del orden de 374 kg de nitrógeno por ha y año. Además, en la corona y raíces queda almacenada una parte no desdeñable de nitrógeno, de al menos 150 kg por hectárea al final del cultivo. Un alfalfar consume, por tanto, no menos de 400 kg de nitrógeno por hectárea y año.

Lo descrito en los anteriores párrafos ha servido de idea para realizar diferentes trabajos en la Bretaña francesa, donde el problema de contaminación de las aguas superficiales y freáticas es grave, y utilizar a la alfalfa como capturadora del nitrógeno aportado por los purines (Thiebeau y Le Borgne, 1999). En el estudio llevado a cabo aportaron dos dosis de purines, 37 y 74 metros cúbicos por hectárea y corte, con un valor fertilizante de 2,49 kg de nitrógeno por metro cúbico, los cuales se aplicaron dentro de las 48 horas que siguen al corte. Ello supuso una aportación total de 276 y 552 kg de nitrógeno por hectárea y año respectivamente, ya que en la Bretaña hacen cuatro cortes al año (a veces cinco), pero solamente aplican purines a los tres primeros cortes para evitar que queden restos de purines sin fijar antes de la parada vegetativa de invierno.

Los resultados obtenidos mostraron que las dos dosis de purines aportadas no modificaron la producción de forraje ni el contenido de proteínas respecto del testigo que no recibió aportaciones de purines. La exportación de nitrógeno del

suelo fue de 30 kg por tonelada de materia seca producida, o sea 390 kg de nitrógeno, ya que la producción estimada fue de 13 toneladas de materia seca por hectárea. Los análisis de suelo mostraron que, a pesar de las aportaciones de purines, la alfalfa dejó el suelo empobrecido de nitrógeno, lo que indica que la planta consumió el nitrógeno aportado. En la parte del alfalfar que no recibió purines, la planta obtuvo el nitrógeno de las bacterias nitrificantes. Experimentos similares fueron llevados a cabo en Estados Unidos (Daliparthi *et al.*,

1994), pero recomendaron limitar las aportaciones de purines a un equivalente en nitrógeno de 113 kg por ha y año, para evitar contaminaciones de la capa freática. Lo anteriormente expuesto sugiere que el descubrimiento de la actividad capturadora de la alfalfa del nitrógeno libre en el suelo es muy prometedor; pero que antes de recomendar su aplicación deben llevarse a cabo estudios previos para conocer las dosis apropiadas, sobre todo en las Zonas declaradas Vulnerables en nuestro territorio.

La alfalfa como potencial contaminadora de nitratos

Cuando se alza un alfalfar, la cantidad de nitratos que quedan en el suelo en las coronas y raíces dejadas en el campo, puede suponer al menos 150 kg de nitrógeno por hectárea. El cálculo se ha establecido a partir del peso y del contenido en proteína bruta de las coronas y raíces que quedan en el campo tras el alzado. En él no se incluyen los posibles restos de la parte aérea, tallos y hojas que se dejen sin cosechar o pastorear; que aumentarían todavía más la cantidad de nitrógeno dejado en el suelo.

La liberalización de este nitrógeno dejado en el suelo por las coronas, raíces y restos de cosecha es lenta y se produce a lo largo de los tres o cuatro años siguientes al enterrado. indican que solamente el 25 % del nitrógeno aportado por los restos de la cosecha se mineraliza en el año que sigue al levantamiento del alfalfar. Justes *et al.* (2001) muestran, en un estudio realizado en Francia, que en los 20 meses que siguen al alzado se mineraliza el 58 % del nitrógeno dejado en el suelo.

De lo expuesto anteriormente se deduce que para que un alfalfar no contamine tras el alzado del cultivo se requiere establecer seguidamente otro cultivo que aproveche el nitrógeno liberado por el rastrojo de alfalfa, con el fin de evitar que la aportación nitrogenada procedente del alfalfar no se lixivie y llegue a contaminar las aguas. Se hace preciso, por ello, confeccionar un calendario de cultivos que aproveche el nitrógeno dejado por el rastrojo. La siembra de cultivos de

plantas no leguminosas como el maíz, la remolacha, el trigo, etc. sería lo más conveniente. En el caso de cultivos que queden en verano en rastrojo, como el trigo, se recomienda la siembra de un cultivo de segunda cosecha (colza, pasto de Sudán, etc.) para aprovechar el nitrógeno que se mineraliza en verano y evitar su lixiviación.



El cultivo en secano de la alfalfa y de otras leguminosas

En aquellos lugares de secano en los que se cultiva la alfalfa y otras leguminosas como la esparceta, los yeros o la veza, es válido todo lo expuesto anteriormente para el cultivo en regadío, teniendo en cuenta que tanto la capacidad de fijación de nitrógeno por la planta como la cantidad

de nitrógeno dejado en el suelo al finalizar el cultivo estarán en proporción a la producción de forraje obtenida en el lugar. No obstante, su cuantificación habrá de ser objeto de otros trabajos de investigación, que no se han llevado a cabo.

IGNACIO DELGADO Y FERNANDO MUÑOZ

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA DE ARAGÓN

Bibliografía

- DALIPARTHY J., HERBERT S. J., VENEMAN P. L. M., 1994. Dairy manure applications to alfalfa: Crop response, soil nitrate, and nitrate in soil water. *Agronomy Journal*, 86, 927-933.
- Fuentes J.A., LLOVERAS J., 2003. *Metodología de la producción de alfalfa en España*. ED. AIFE, Lleida. 78pp.
- RUIZ, A.; VÉLILLA, G.; GIL, M., 1993. Comercio y producción de alfalfa en los regadíos de Aragón. *Informaciones Técnicas del Gob. de Aragón*, 4, 27 pp.
- THIEBEAUP, LE BORGNE R., 1999. *La Luzerne: une solution pour limiter les risques de fuites de nitrates liés aux apports intensifs de lisier en Bretagne*. Colloque « Agriculture et environnement ». ITIA, 5^{ème} promotion, Trie-Château, 16 abril. 7 pp.